

分布式电源的选址及定容

冯 宁¹, 王 倩¹, 马峰超², 李 刚¹

(1 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031; 2 中铁工程设计咨询工程有限公司电化院, 北京 100055)

摘 要: 分布式电源的接入会对配电网的运行和规划产生重要影响, 影响的大小与分布式电源的位置和容量有很大关系。在分布式电源个数、位置和单个容量不确定的情况下, 以配电网最小网络损耗为目标函数, 应用了遗传算法优化分布式电源的位置和容量。通过算例分析, 验证了所提方法能够得到较合理的分布式电源接入位置和容量的方案。

关键词: 分布式发电; 配电网规划; 选址和定容; 遗传算法

Abstract: The connection of distributed generation (DG) has a great impact on the operation and planning of distribution network which has a relation to the selection of installation site and optimal capacity of DG. Under the uncertain number, location and individual capacity of DG, the minimal loss of distribution network is taken as the objective function, and the site and the capacity of DG are optimized using the genetic algorithm. Through the analysis of an example, it is verified that the fairly rational selection scheme for installation site and optimal capacity of DG can be obtained with the proposed method.

Key words: distributed generation (DG); distribution network planning; site selection and capacity selection; genetic algorithm

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2010)02-0053-04

0 引 言

分布式发电 (DG) 是指将发电系统以小规模 (发电功率在数千瓦至 50 MW 的小型模块)、分散式的方式布置在用户附近, 可独立地输出电能的系统。分布式发电种类主要包括以液体或气体为燃料的内燃机发电、微型燃气轮机发电、风力发电、太阳能发电、燃料电池发电等。随着分布式发电的逐步推广, 对配电网的节点电压、线路潮流、短路电流、网络可靠性等都会带来影响, 其影响程度与分布式电源的位置和容量密切相关。因此, 分布式电源的选址和定容十分重要^[1-6]。

国内外已有一些学者对分布式电源选址和定容问题进行了研究。文献 [7] 在考虑新增负荷节点的情况下, 由新增负荷总量确定待建分布式电源的总容量, 采用遗传算法及基于支路交换的模拟退火算法进行网络扩展规划, 得到分布式电源和配电网的综合优化方案。文献 [8] 在已知分布式电源总容量的情况下, 以实现最小配电网网损为目标, 采用禁忌搜索法对分布式电源的位置和容量进行分解协调。文献 [9] 在给定分布式电源容量的情况下, 采用解析法研

究了单条辐射线路上分布式电源的最优安装位置。该模型假定负荷沿馈线按照一定的规律分布 (如均匀分布、递减分布、递增分布等), 但实际配电网中负荷的分布往往是随机的。

在分布式电源个数、位置和单个电源容量均不确定的情况下, 建立了配电网最小网络损耗的优化模型。根据分布式电源的特点, 采用了基于支路电流的前推回代法计算配电网潮流, 应用遗传算法对分布式电源的位置和容量进行优化, 遗传搜索终止时得到分布式电源的优化配置方案。

1 含有分布式电源的配电网结构

分布式电源接入配电网后的结构如图 1、图 2 所示。

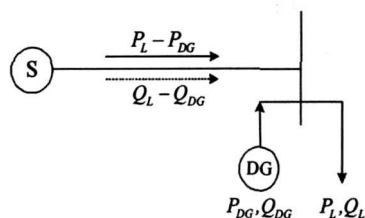


图 1 带分布式电源的简单辐射线路

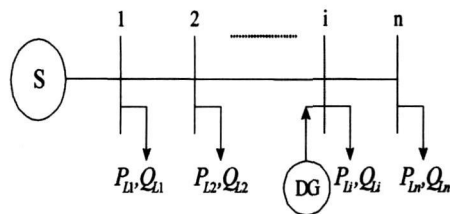


图 2 带分布式电源的单辐射线路

计及分布式电源的配电网规划必须考虑分布式电源对线路的负载能力和配电网潮流的影响。按分布式电源接入电力系统方式不同,其模型可分为 3 类:同步机、异步机、换流器 (AC/DC、AC/AC)。异步发电机发出的有功功率是确定值,无功功率和极端电压有关,可视为电压静特性节点。同步发电机具有电压控制和功率因数控制两种方式,可分别作为 PV 和 PQ 节点处理。燃料电池等发电方式接入系统时,均需要选择 AC/DC、AC/AC 转换器使之与电网相接,通过调节换流器控制策略,可以实现对其有功和无功出力的调节,因此在潮流计算中可作为 PV 或 PQ 节点处理。这里将它当成具有恒定功率因数的 PQ 节点,并假定分布式电源的位置在负荷节点上。

2 计及分布式电源的配电网优化模型

配电网规划的目的是根据电源发展及负荷的增长情况,合理地确定若干年后的目标网络结构,使其在保证安全可靠的前提下,使配电系统的建设和运行费用最小。现以配电网最小网络损耗作为目标函数。

分布式电源接入配电网后的网络损耗为

$$P_{\text{loss}} = \frac{(P_L^2 + Q_L^2)}{U^2} (R + jX) + \frac{(P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G) w\%}{U^2} (R + jX) \quad (1)$$

式 (1) 中, $R + jX$ 为线路总阻抗; $w\%$ 为分布式电源接入配电网后距离配电所端的距离占线路总长度的百分比; P_L 、 Q_L 分别为负荷端有功功率和无功功率; U 为负荷端电压; P_G 、 Q_G 分别为分布式电源的有功功率和无功功率。

等式约束条件如式 (2) 所示,其中 P_{Gi} 、 Q_{Gi} 分别是各节点的注入有功功率和无功功率; U_i 为节点 i 的电压幅值; G_{ij} 为支路导纳; B_{ij} 为支路电纳; δ_{ij} 为节点 i 与节点 j 电压角度的差值。

$$h(x) = \begin{cases} P_{Gi} - U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \\ Q_{Gi} - U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

不等式约束条件为

$$g(x) = \begin{cases} U_{\min} \leq U \leq U_{\max} \\ P_L \leq P_{L\max} \\ P_{DG\min} \leq P_{DG} \leq P_{DG\max} \\ \max\{P_{DG_i}\} \leq P_{S\max} - P_S \end{cases} \quad (3)$$

其中, P_{DG_i} 、 Q_{DG} 分别为节点注入的分布式电源的有功功率和无功功率; U 和 P_L 分别为节点电压和支路有功功率; P_{DG} 为分布式发电额定容量; P_S 和 $P_{S\max}$ 分别为配电系统从输电系统购买的实际功率和最大功率。

3 分布式电源选址和定容的求解

3.1 染色体编码

对分布式电源的位置和容量采用实数编码的方法,分布式电源的建设方案运用一组变量 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 表示, x_i 的大小说明了对应负荷节点 i 的分布式电源建设情况。若 $x_i = 0$, 则说明该负荷节点 i 不安装分布式电源; 若 $x_i = 1$, 则表示该负荷节点上待建分布式电源, 且安装容量为 100 kVA; 若 $x_i = 2$, 则表示该负荷节点上待建分布式电源, 且安装容量为 200 kVA, 以此类推。该方法避免了二进制繁琐的编码、译码。

3.2 产生初始群体

在优化过程中, 初始解一般采用随机方式产生。分布式电源位置和容量初始解的产生步骤如下。

1) 计算待规划的配电网新增负荷的总容量, 确定分布式电源总容量。

2) 随机产生一个初始群体, 并对该群体所有个体进行校验。如果所有染色体对应方案中各分布式电源容量均小于相应的负荷量, 且接入容量不超过规定值, 则该群体就作为分布式电源位置和容量的初始解。

3.3 遗传操作的实现

遗传算法从初始化的群体出发, 以适应度函数为依据, 通过对群体进行选择、交叉、变异的遗传操作, 实现个体之间的信息交换和结构重组, 使群体品质不断的提高并逐渐逼近全局最优解, 得到下一代个体。

所采用的 3 种遗传算子如下。

3.3.1 选择算子

选择遗传算子采用最佳保留策略,即前代群体中适应度最高的几个个体直接替代掉当前群体中适应度最低的等量个体,这样就可以保证当前群体适应度不低于前代群体的适应度。

3.3.2 交叉算子

所采用的交叉算子为改进的“自适应交叉算子”。自适应遗传算法中,交叉率自适应调整公式如下。

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{P_{c1} - P_{c2}}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} (f' - f_{\text{avg}}) & f' \geq f_{\text{avg}} \\ P_{c1} & f' < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (4)$$

式中: f_{\max} ——代表群体中最大的适应度值;
 f_{avg} ——代表每代群体的平均适应度值;
 f' ——代表要交叉的两个个体中较大的适应度值。

交叉概率选择为 $P_{c1} = 0.9$, $P_{c2} = 0.4$ 。

3.3.3 变异算子

采用改进的“自适应变异算子”。自适应遗传算法中,变异率自适应调整公式如下。

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{P_{m1} - P_{m2}}{f_{\max} - f} (f_{\max} - f) & f \geq f_{\text{avg}} \\ P_{m1} & f < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (5)$$

式中: f_{\max} ——代表群体中最大的适应度值;
 f_{avg} ——代表每代群体的平均适应度值;
 f ——代表要变异个体的适应度值。

变异概率选择为 $P_{m1} = 0.1$, $P_{m2} = 0.001$ 。

3.3.4 搜索终止条件

采用以下两种搜索终止条件,满足其中任何一种条件则搜索中止。

- 1) 达到最优解连续不变最大代数 C 。
- 2) 达到遗传操作的终止代数 T 。

4 算例分析

算例采用 IEEE 14 节点系统,其结构如图 3 所示。假设网络中允许接入分布式电源的节点为节点 2~节点 14。分布式电源的总装机容量不得超过最大负荷总量的 10%,分布式电源的功率因数为 0.9。关于多种群遗传算法参数的选取如下。各种群群体大小为 $M = 60$,最优解连续不变对大代数 $W = 5$,最大

迭代次数 $T = 50$ 。

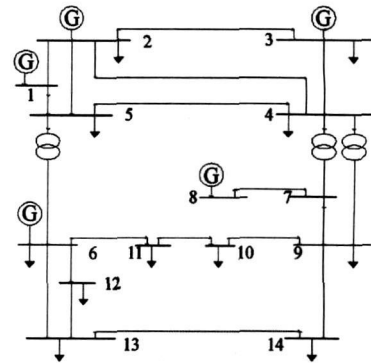


图 3 IEEE 14 节点配电网测试系统图

遗传操作后得到的分布式电源位置和容量见表 1。

表 1 分布式电源的安装位置及容量

| 接入节点 | 接入容量 /kVA |
|------|-----------|
| 4 | 200 |
| 9 | 500 |
| 12 | 500 |
| 13 | 300 |

表 1 为模型和算法求得的分布式电源最优位置和容量信息。系统接入 DG 后的有功网损为 8.200 MW,系统未接入 DG 时的有功网损为 9.287 MW,优化后的有功网损下降了 11.704%,由此可得出分布式电源的合理配置能够有效的降低网络损耗。

图 4 为接入分布式电源前后系统中的节点电压,由图可以看出能够有效提高系统电压水平。

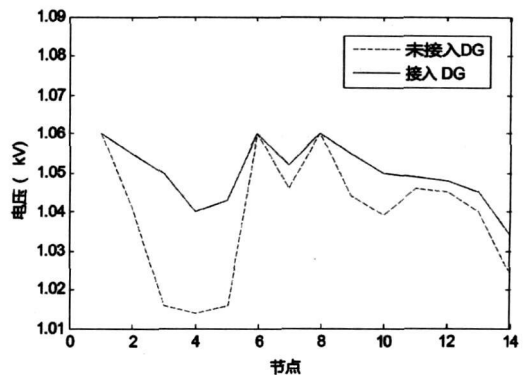


图 4 DG 接入前后节点电压

5 结 语

采用了遗传算法对配电网中分布式电源的位置和容量进行优化配置,通过对 IEEE 14 节点配电网测试系统算例分析,验证了该方案的有效性。采用该方案的分布式电源的接入降低了线路损耗,提高了电压稳定性。同时考虑到分布式发电带来的社会和经济效益,分布式电源的经济可靠接入配电网有十分重要的意义。

参考文献

[1] 王建, 李兴源, 邱晓燕. 含分布式发电装置的电力系统研究综述 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(24): 90—97.

[2] 梁才浩, 段献忠. 分布式发电及其对电力系统的影响 [J]. 电力系统自动化, 2001(6): 53—56.

[3] BORGES C L T, FALCAO D M. Impact of Distributed Generation Allocation and Sizing on Reliability Losses and Voltage Profile [J]. In: Proceedings of IEEE Power Tech Conference Bologna (Italy); 2003. 5p

[4] 崔金兰, 刘天琪. 分布式发电技术及其并网问题研究综述 [J]. 现代电力, 2007, 3(24): 53—57.

[5] Fernando Bastiao Paulo Cruz Rui Fiteiro. Impact of Distributed Generation on Distribution Networks [J]. European Electricity Market 2008. EEM 2008. 5th International Conference on 28—30 May 2008; 1—6.

[6] 王志群, 朱守真, 周双喜. 分布式电源对配电网电压分布的影响 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 56—60.

[7] 王成山, 成凯, 谢莹华, 郑海峰. 配电网扩展规划中分布式电源的选址和定容 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(3): 38—43.

[8] Nara K, Hayashi Y, Ikeda k et al. Application of Tabu Search to Optimal Placement of Distributed Generators [C]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting O-

hio USA, 2001.

[9] GRIFFIN T, TOMSOVIC K, SECREST D et al. Placement of Dispersed Generation System for Reduced Losses [J]. In: Proceeding of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences Maui (HI USA), 2000; 1446—1454.

[10] G. Capinelli Member IEEE, G. Celli Member IEEE, F. Pilo Member IEEE, A. Russo Member IEEE. Distributed Generation Siting and Sizing under Uncertainty [J]. Power Tech Proceedings IEEE Porto V, 2001, (4): 7.

[11] CELLI G, PILO F. Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Network [J]. In: Proceedings of 22nd IEEE Power Industry Computer Applications Sydney (Australia) 2001; 81—86.

[12] 段玉倩, 贺家李. 遗传算法及其改进 [J]. 电力系统及其自动化学报, 1998, 10(1): 39—52.

[13] 张奇. 配电网规划中分布式电源的选址和定容 [D]. 济南: 山东大学, 2008.

作者简介:

冯 宁 (1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统调度及其自动化、智能电网;

王 倩 (1962—), 女, 教授, 研究方向为电力系统调度及其自动化。

(收稿日期: 2010—01—20)

(上接第 20 页)

面电场强度几乎没什么影响, 即电压极性对雷击概率的影响可忽略。当电压大于、等于 220 kV 时候, 同一电压等级正负极性对输电线表面电场强度的影响逐渐增大, 负载电压为正极性的输电线表面场强大, 其被雷击概率也大。所以在负载电压等级大于 220 kV 时, 电压极性对雷击概率的影响应当考虑。

(3) 随雷击倾角的增大, 输电线被雷击的概率逐渐减小, 二者的关系函数呈多项式函数, 表达式为: $Y = 1.18208 \times 10^6 - 2.0122765X - 11.42981X^2$, 其中 Y 为输电线表面场强, X 为雷击入射角度。

参考文献

[1] 吴薛红. 防雷与接地技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.

[2] 徐勇, 汪霄飞, 朱英浩, 等. 大气条件对空气间隙放电特性的影响及其数值解析式 [J]. 电工技术学报, 2007, 22(4): 21—26.

[3] 钟连宏, 常美生. 不同土壤电阻率对雷电放电过程的影响 [J]. 高电压技术, 1997, 23(1): 64—66.

[4] 王巨丰, 周世濂, 田树军, 等. 基于雷电走向与场强最大方向一致原理的接地导体雷击范围的计算 [J]. 广西电力, 2004(6): 39—41.

[5] 王巨丰, 周世濂, 田树军, 等. 地面上金属接地体高度对雷击概率的影响 [J]. 高电压技术, 2005, 31(4): 64—65.

[6] 王晓彤, 施围, 刘文泉. 改进电气几何模型计算输电线路绕击率 [J]. 高电压技术, 1998, 24(1): 85—87.

[7] 张志劲, 司马文霞, 蒋兴良. 超 特高压输电线路雷电绕击防护性能研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(10): 1—6.

[8] 钱冠军, 王晓瑜, 汪雁. 输电线路雷击仿真模型 [J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(8): 39—44.

[9] 钱冠军, 王晓瑜, 徐先芝. 输电线路绕击分散性的试验研究 [J]. 高电压技术, 1998, 24(3): 17—20.

[10] 孔祥贞, 郝秀书, 张广庶, 等. 多接地点的梯级先导及回击过程的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(22): 142—147.

[11] 刘振亚. 特高压电网 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.

[12] 章润陆, 陆宠惠, 李劲波. 输电线路绕击率的探讨 [J]. 高电压技术, 1985, 1(9): 39—45.

作者简介:

李瑞芳 (1980—) 女, 博士研究生, 主要从事防雷接地技术的研究。

吴广宁 (1969—) 男, 博士生导师, 主要从事高电压与绝缘技术的研究。

马御堂 (1986—) 男, 硕士研究生, 主要从事防雷接地技术的研究。

(收稿日期: 2009—10—22)